

А. И. Сафарян*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва

**an.safaryan@gmail.com*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук А. М. Мамонов

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Zr-2,5Nb

В работе исследованы закономерности влияния дополнительного легирования водородом и термического воздействия на формирование фазового состава, структуры и твердость циркониевого сплава Zr-2,5Nb.

Ключевые слова: цирконий, водород, термоводородная обработка.

A. I. Safaryan

INFLUENCE OF HYDROGEN TREATMENT ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF Zr-2,5Nb ZIRCONIUM ALLOY

The influence of additional hydrogen alloying and thermal treatment on the formation of phase composition, structure and hardness of Zr-2,5Nb zirconium alloy was investigated.

Keywords: zirconium, hydrogen, thermohydrogen treatment.

Одной из технологий, позволяющих управлять микроструктурой и свойствами гидрообразующих металлов и сплавов, является термоводородная обработка (ТВО), основанная на сочетании обратимого легирования водородом с термическим воздействием. Она была разработана применительно к титану и его сплавам [1]. Титан и цирконий являются близкими по физико-химическим свойствам металлами. Они имеют схожие диаграммы состояния с водородом. Возможности управления структурой циркониевого сплава Zr-2,5Nb методами термической обработки ограничены. Поэтому цель настоящей работы состояла в исследовании влияния термоводородной обработки на структуру и свойства циркониевого сплава Э-125 (Zr-2,5Nb).

Исследования проводили на образцах, вырезанных из горячекатаного прутка сплава Zr-2,5Nb диаметром 40 мм в состоянии поставки. Наводороживающий отжиг образцов осуществляли в установке Сивертса до концентраций 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 % Н (по массе) при температурах от 700 до 800 °С. Выбранные температуры соответствовали β-области для сплава в системе Zr-H. По завершении процесса поглощения – о чем судили по остаточному давлению в системе – образцы выдерживали при температуре наводороживания при равновесном давлении водорода в течение от 30

минут до 1 часа для достижения равновесного состояния. После завершения процесса поглощения водорода образцы охлаждали с печью со скоростью около 0,05 К/с.

Фазовый состав и структуру наводороженных образцов изучали при нормальной температуре с помощью металлографического и рентгеноструктурного анализа.

Фазовый состав в исходном состоянии представлен фазами α -Zr и небольшим количеством β -Zr (<5 %). Это говорит о неравновесном состоянии исходного прутка, т. к. предельная растворимость Nb в α -Zr составляет около 1,5 %. Однако равновесной фазы β -Nb, присутствующей на диаграмме состояния Zr-Nb, обнаружено не было.

Морфологически структура образцов представлена крупными пластинами α -фазы, отделенными друг от друга тонкими прослойками β -фазы (рис. 1, а).

На участках дифрактограмм (рис. 1) хорошо видно, что интенсивность дифракционных максимумов β -фазы при введении 0,1 % водорода увеличивается по сравнению со сплавом с исходным содержанием водорода.

При введении 0,2 % водорода объемная доля β -фазы снижается вследствие ее частичного эвтектоидного превращения, и появляются рефлексы, характерные для $\delta(\text{ZrH}_x)$ -гидрида, α -фаза сохраняет пластинчатую морфологию.

В сплаве с 0,4 и 0,8 % Н происходит полный эвтектоидный распад β -фазы, и фазовый состав представлен только α -фазой и гидридом. Интенсивность гидридных пиков увеличивается с увеличением концентрации водорода.

Структура сплава после различных концентрационно-кинетических режимов наводороживания приведена на рис. 1. Видно, что при всех концентрациях введенного водорода структура сплава носит преимущественно пластинчатый характер. При анализе структур сплава, содержащего 0,8 % водорода, формирующихся после наводороживающего отжига, можно отметить массивные пластинчатые выделения гидрида по границам исходного β -зерна, что указывает на его первичное происхождение. Вторичные же мелкодисперсные гидриды формируются внутри исходных β -зерен.

По результатам рентгеноструктурного анализа определяли периоды кристаллических решеток фаз. Следует отметить, что при легировании водородом параметр решетки β -фазы возрастает вследствие растворения в нем водорода. Водород частично растворяется и в α -фазе, незначительно увеличивая параметр решетки a_α и уменьшая c_α . Параметр решетки δ -фазы увеличивается с увеличением концентрации водорода.

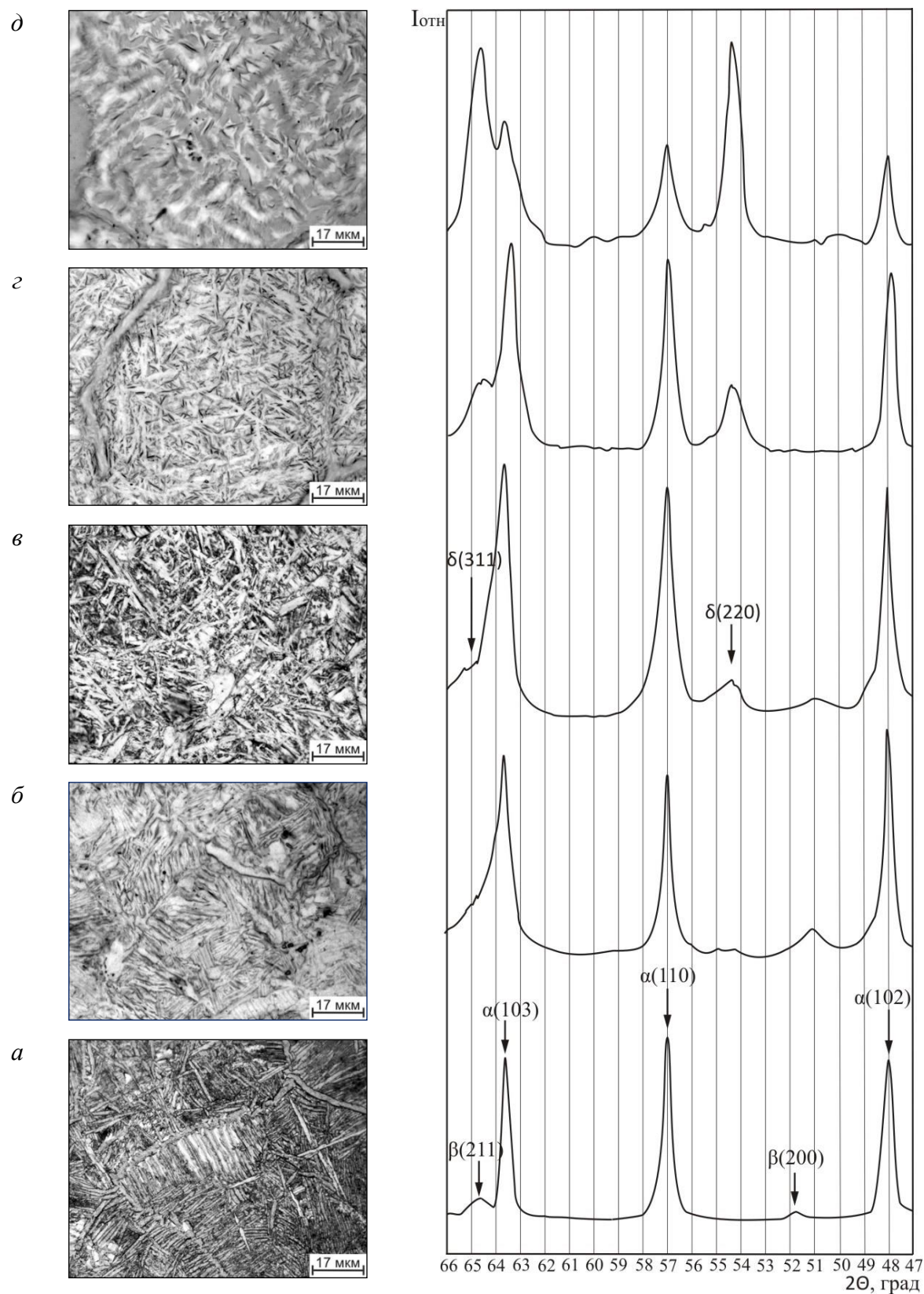


Рис. 1. Микроструктура сплава Zr-2,5Nb и участки дифрактограмм в исходном состоянии (а) и после наводороживающего отжига до концентраций 0,1 (б); 0,2 (в); 0,4 (г) и 0,8 (д) % водорода и охлаждения с печью

На следующем этапе работы было исследовано влияние закалки водородосодержащего сплава на твердость. После завершения наводороживающего отжига в интервале температур 700–800 °С до концентраций 0,1; 0,2 % и 0,4 % образцы нагревали до 800 °С (β -область), выдерживали 45 минут для завершения диффузионных процессов и затем охлаждали в воде.

Исследования показали, что в структуре сплава с 0,1 % водорода после закалки из β -области формируется типичная мартенситная структура, представленная пластинами только водородосодержащей метастабильной α' -фазы различной толщины и ориентировки (рис. 2, *а*). Так как α' -мартенсит с α -фазой имеет одинаковую кристаллическую решетку (ГП), то разделить рентгенографически их невозможно. Поэтому о наличии в структуре α' -мартенсита в первую очередь судили по данным металлографического анализа.

При концентрациях водорода 0,2 и 0,4 % водорода в структуре закаленного сплава присутствует гидридная фаза, образующаяся из β -фазы, но уже сдвиговым путем вследствие оттеснения водорода в β -матрицу в процессе зарождения и роста мартенситных α' -пластин (рис. 2, *б*, *в*).

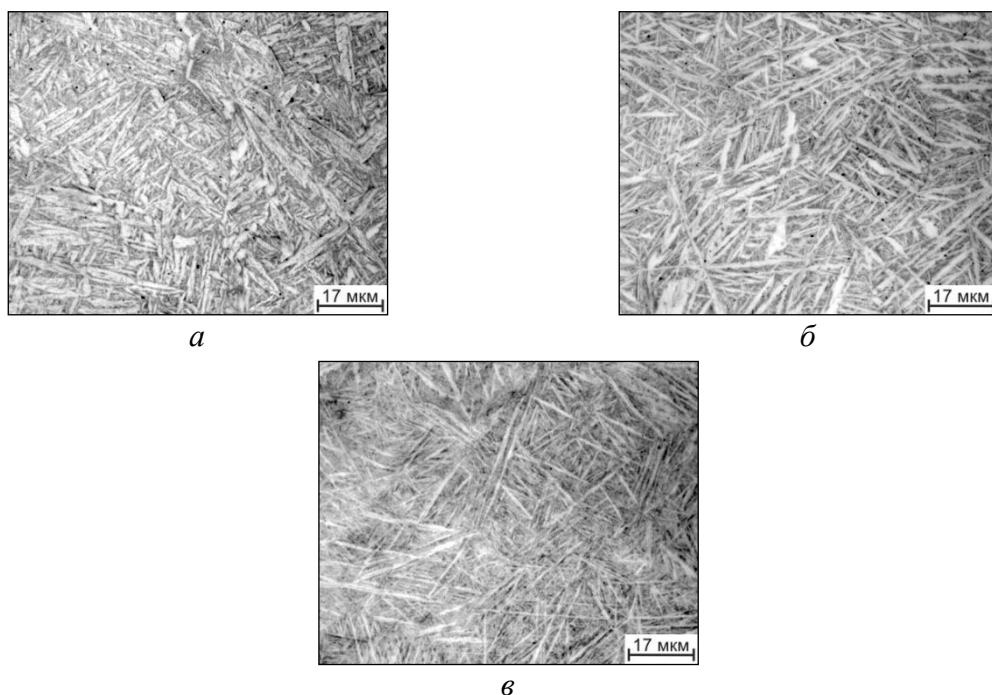


Рис. 2. Микроструктура сплава Zr-2,5Nb с 0,1 (*а*); 0,2 (*б*) и 0,4 (*в*) % водорода после закалки из β -области

В соответствии с изменением фазового состава и структуры меняется твердость образцов. Измерения проводили методом Роквелла со стальным шариком. График зависимости твердости сплава Zr-2,5Nb,

закаленного из β -области, от концентрации водорода представлен на рис. 3. Твердость Zr-2,5Nb сплава в исходном состоянии составляет 82,8 ед. *HRB*. При закалке сплава с 0,1 % водорода происходит интенсивный рост твердости, затем она незначительно увеличивается при концентрации 0,2 %, а далее возрастает до 98,6 ед. *HRB* при $c_H = 0,8$ %.

Повышение твердости в сплаве с содержанием 0,1 % водорода с последующей закалкой связано с образованием мартенситной фазы α' . При дальнейшем увеличении концентрации водорода это может быть связано с возрастанием упругих межфазных напряжений из-за большого объемного несоответствия α - и δ -фаз.

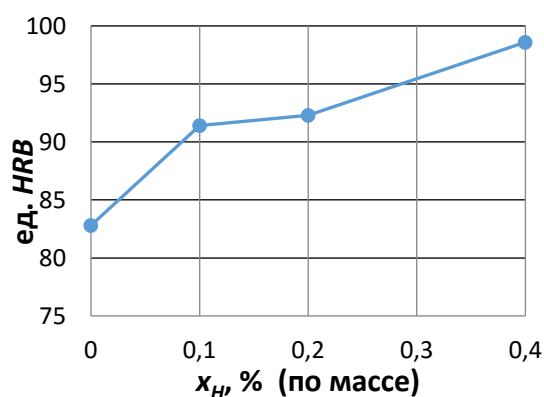


Рис. 3. Влияние концентрации водорода на твердость циркониевого сплава Zr-2,5Nb, закаленного из β -области

ЛИТЕРАТУРА

1. Водородная технология титановых сплавов / А. А. Ильин [и др.]; под общ. ред. чл.-корр. РАН А. А. Ильина. М. : МИСиС, 2002. С. 392.